



IPO COIMBRA



Qualidade
Um Compromisso



AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA RADIOLÓGICA DE UMA INSTALAÇÃO DE TOMOTERAPIA NUM BUNKER EXISTENTE DE RADIOTERAPIA

M. Carmen de Sousa, M. Carmo Lopes



1996 – 2015

↑ abril 2016



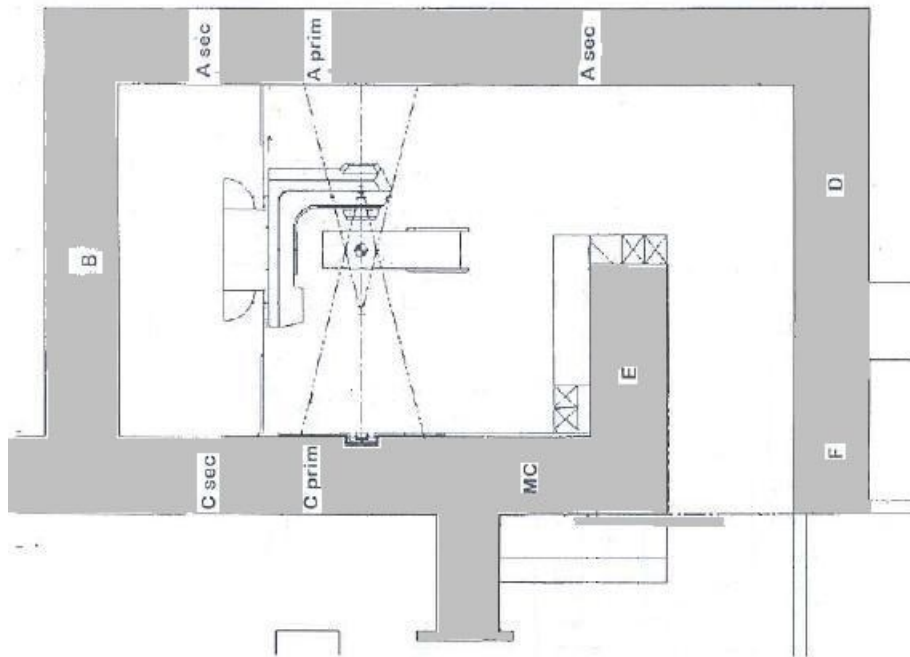
Acelerador linear
Clinac 600C da Varian
4 MV



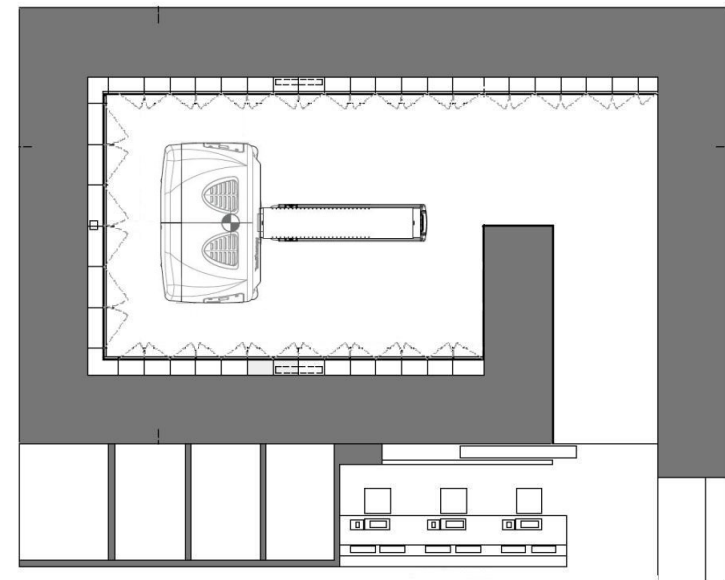
Tomoterapia
TomoTherapy® TomoHD™ da Accuray
6 MV



Reforço das barreiras de protecção do bunker necessário?

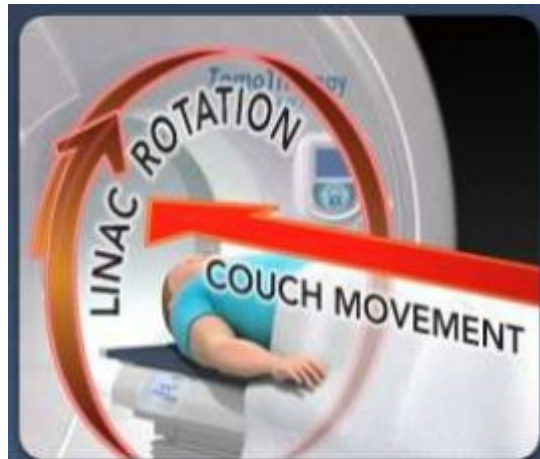


Acelerador linear
Clinac 600C da Varian
4 MV

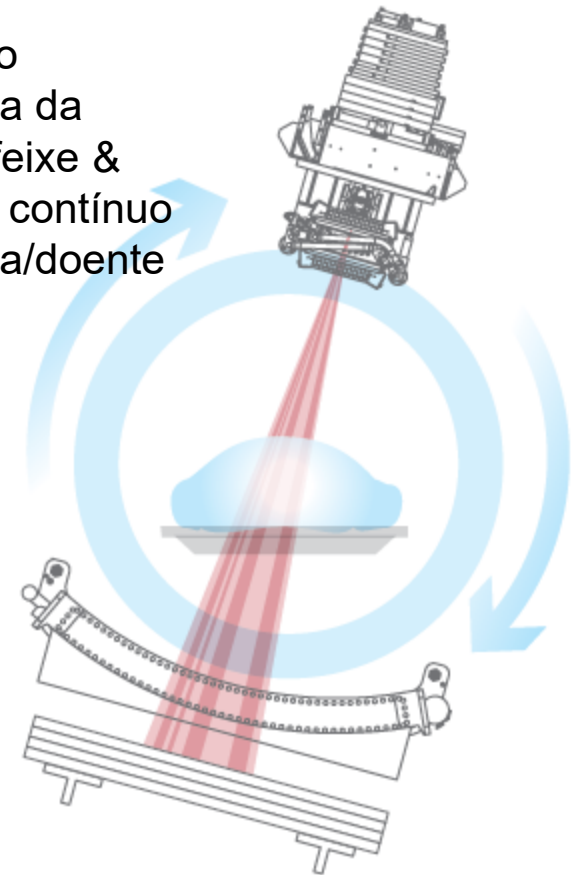


Tomoterapia
Tomotherapy® TomoHD™ da Accuray
6 MV

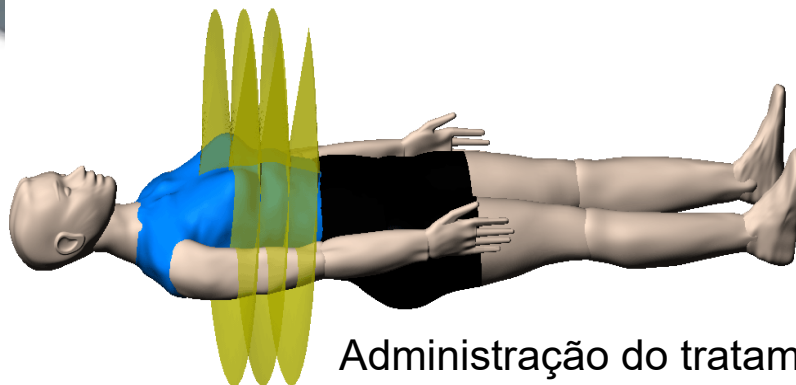
Tomoterapia (helicoidal)



Rotação contínua da gantry/feixe & avanço contínuo da mesa/doente



IMRT
Modificação da modulação do feixe a cada intervalo de 7° (51 projeções)



Administração do tratamento às fatias

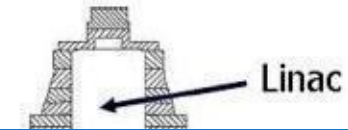
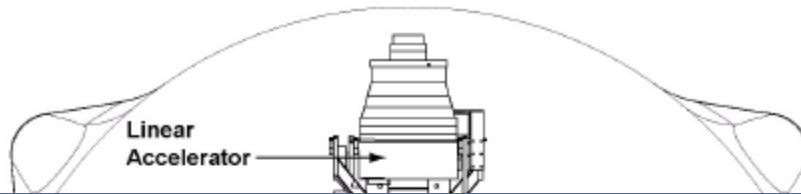


Geometria semelhante à TC helicoidal (gantry em forma de anel)

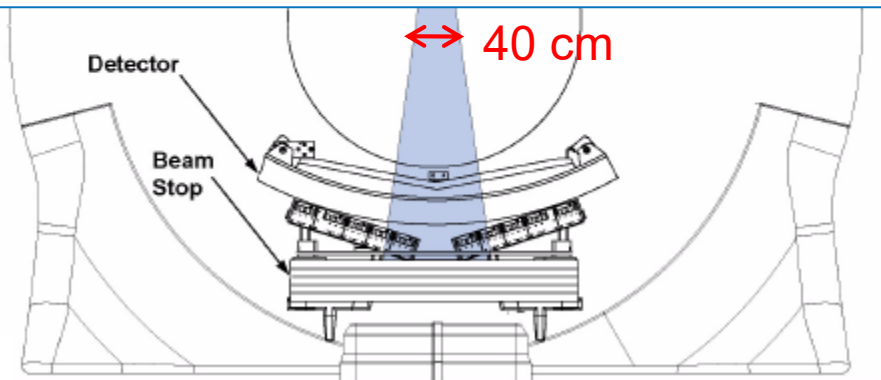
-
Fusão AL + TC helicoidal



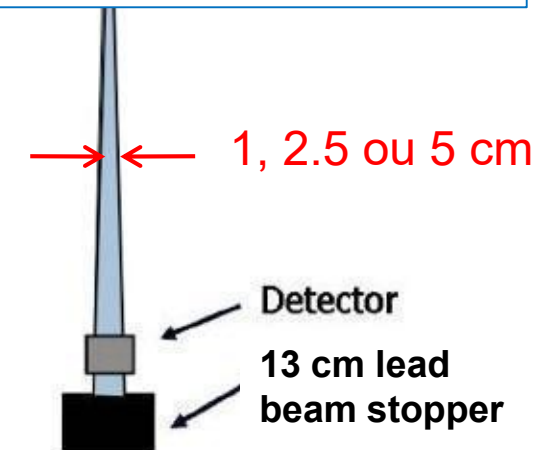
Arquitetura da Tomoterapia



Não há feixe primário não atenuado a incidir nas barreiras primárias



Corte frontal



Corte lateral

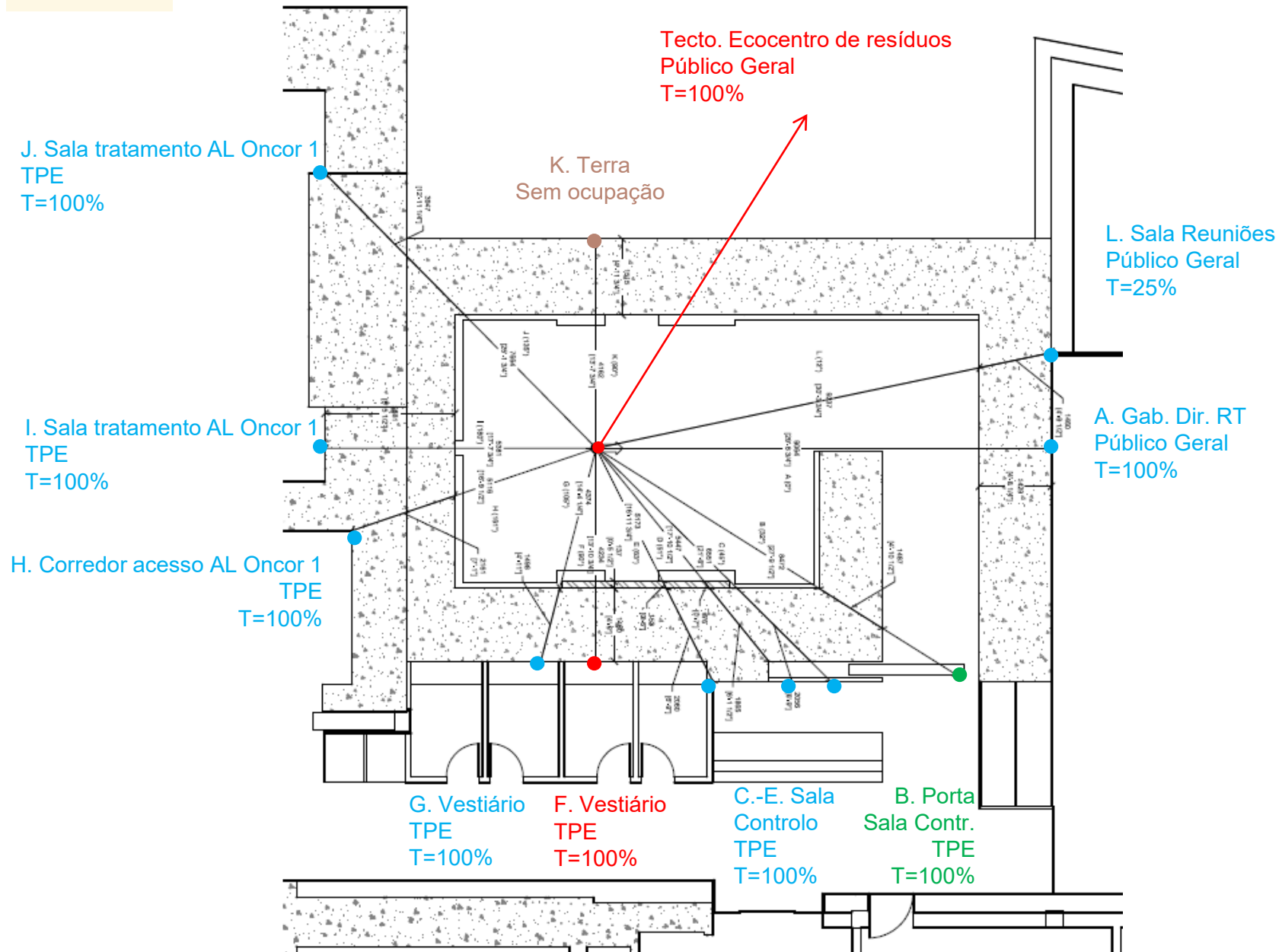
Localização da sala de tratamento da Tomoterapia

- Zona Controlada (fontes de radiação)
- Zona Controlada (sala de controlo)
- Zona Viglada (ligação zona controlada – zona de livre acesso, do ponto de vista radiológico)
- Zona de livre acesso, do ponto de vista radiológico
- ▲ Sinalização "Zona Controlada"
- ▲ Sinalização "Perigo Radiações – não entrar com a luz vermelha acesa"
- Terra



Barreira 1ária
Barreira 2ária
Barreira 3ária

Barreiras e ocupação das áreas contínuas





IPO COIMBRA

Qualidade
Um Compromisso

Previsão da utilização clínica da Tomoterapia

Tipo de tratamento	BoT (s)	BoT (min)	Nº doentes/dia	BoT por dia (min)
Cabeça e pescoço	220	3,7	15	55
Próstata	300	5	3	15
Intracraniano	500	8,3	5	42
Extracraniano	600	10	5	50

Média Beam on Time (min) 6,8

Número total de doentes por dia 28

Beam on Time total por dia (min) 162

Beam on Time total semanal (min) (5 dias / semana) 808

Calibration Output no isocentro (Gy/min) 8,8

Workload semanal (Gy/sem) 7113

**Abordagem
conservadora**

→ **BoT = 1200 min/sem**

→ **W = 10560 Gy/sem**



Metodologia do cálculo de blindagens

NCRP151 – DL180/2002 – TT Site Planning Guide

$$x_i = n_i \times TVL_i$$

$$n_i = \log_{10} \left(\frac{1}{B_i} \right)$$

$$B_i = \frac{LDSED}{H_i \times T \times U}$$

$$H_i = 1 \times D_i = \dot{D}_i \times BoT$$

2—No planeamento das barreiras de protecção devem ser usados os seguintes valores de limites derivados:

- a) 0,4 mSv/semana, para áreas ocupadas por trabalhadores profissionalmente expostos;
- b) 0,02 mSv/semana, para áreas ocupadas por membros do público.

TABELA III
Factor de ocupação (T)

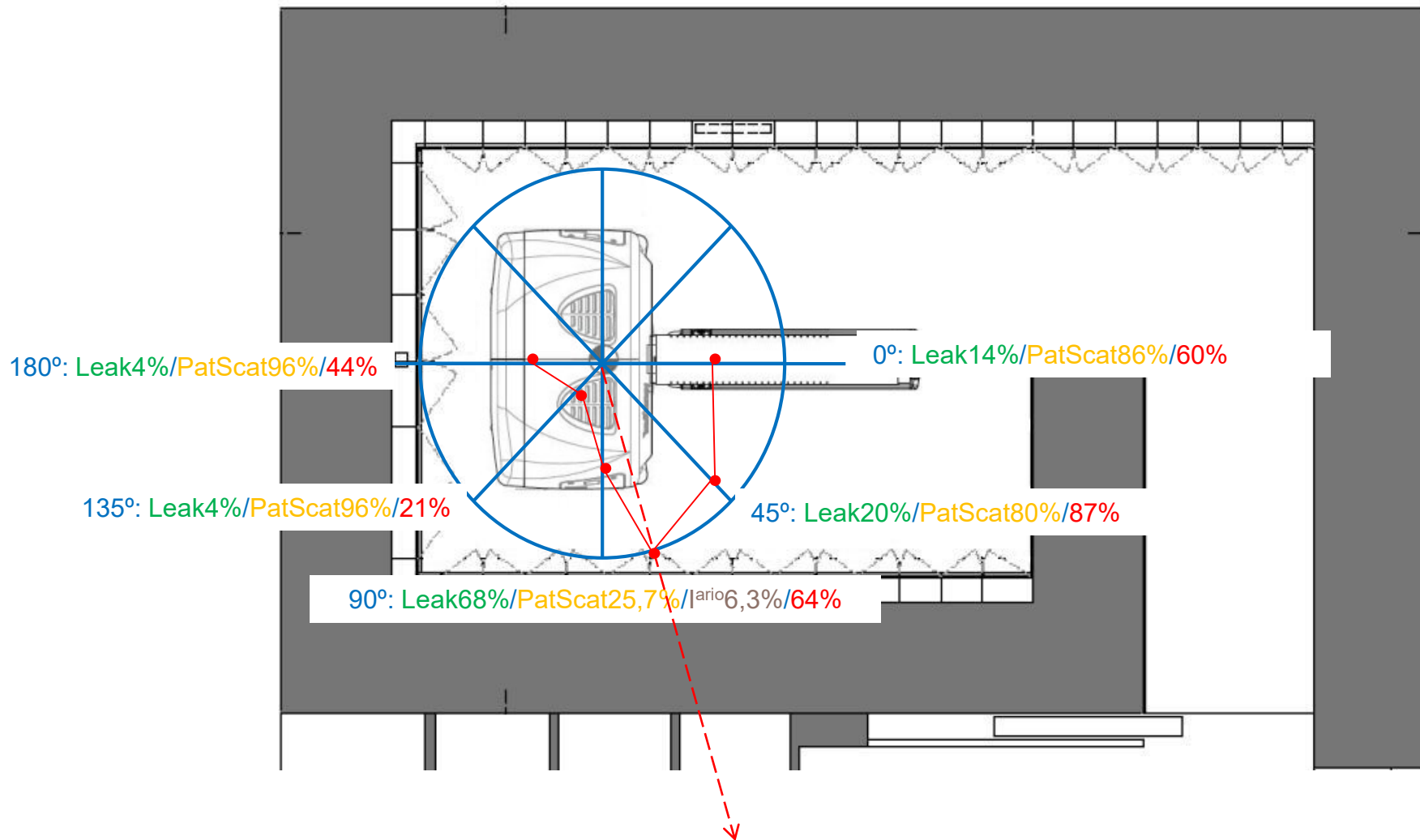
Áreas ocupadas	Ocupação	Factor de ocupação (T)
Áreas de trabalho, laboratórios, gabinetes, zonas de atendimento, vestiários, câmaras e áreas que permitam permanências prolongadas, bem como as áreas externas adjacentes.	Total	1
Corredores estreitos, salas de espera, parques de estacionamento com guarda, ascensores com ascensorista, etc.	Parcial	1/4
Exteriores, sanitários, escadas, ascensores automáticos, parques de estacionamento sem guarda, etc.	Ocasional	1/16

BoT = 1200 min/sem

$$\dot{D}_i = \frac{\text{Radiação}_i(a, \theta)}{\text{Output}} \times \text{Calibration Output}$$

Calibration output = 8,8 Gy/min @ isocentro (FID 85 cm & campo máx 5x40 cm²)

Resumindo os níveis de radiação medidos pelo fabricante, para uma distância de 2 m do isocentro, em função da posição angular da barreira [TT Site Planning Guide, 2010]



Nível máximo da radiação total medido para um ângulo de 75°:

75°: L32%/PS68%/100%



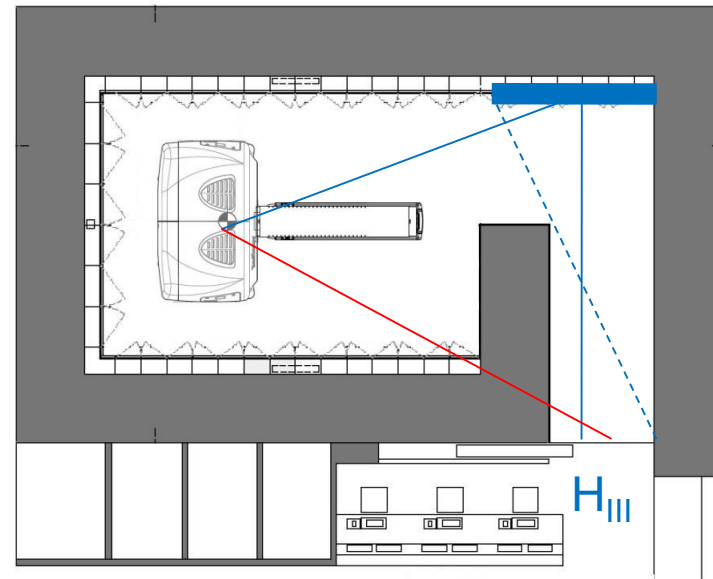
Caso da porta

Por analogia com o método proposto no NCRP Report 151, para a porta de acesso de um acelerador linear de baixa energia (≤ 10 MV):

$$H_{\text{porta}} = H_{L\&PS_{\text{transmitida}}} + H_{\text{III}}$$

2 componentes principais:

- Leak & Pat.Scatt. transmitida pela parede interior do bunker
- Leak & Pat.Scatt. dispersa pelas paredes do bunker



$H_{\text{leak\&patScatt transmitted}}$

Reforço da porta com chumbo necessário se $H_{\text{porta}} > 0,4$ mSv/semana



Resultados

(BoT = 1200 min/sem; Workload = 10560 Gy/sem; 100% dos tratamentos realizados em modo TomoHelical com IMRT)

Barreira	Descrição	Ocupação	Tipo barreira	Fator Uso	Tipo área	Limite Dose permitido (mSv/sem)	Espessura da blindagem necessária ⁽¹⁾ (cm)				Espessura existente ⁽¹⁾ (cm)	Reforço necessário
							Leakage	Patient Scatter	Primária	Total		
1. Parede A	Gabinete da direção	100%	II ^{ária}	100%	Pública	0,02	97,1	62,1	\	108	143	Não
2. Porta B	Porta sala tratamento	100%	II ^{ária} e III ^{ária}	100%	Controlada	0,4	Equivalente de dose semanal total que incide na porta = 0,12 mSv/sem < limite de dose permitido = 0,4 mSv/sem				Não	
3. Parede C	Sala controlo	100%	II ^{ária}	100%	Controlada	0,4	74,7	47,8	\	86	206	Não
4. Parede D	Sala controlo	100%	II ^{ária}	100%	Controlada	0,4	78,5	49,7	\	90	187	Não
5. Parede E	Sala controlo	100%	II ^{ária}	100%	Controlada	0,4	77	45,6	\	88	206	Não
6. Parede F	Vestiário	100%	I ^{ária}	10%	Controlada	0,4	89,9	37,4	17,6	90	>145 ⁽²⁾	Não
7. Parede G	Vestiário	100%	II ^{ária}	100%	Controlada	0,4	84,4	37,7	\	84	150	Não
8. Parede H	Corredor acesso AL oncor 1	100%	II ^{ária}	100%	Controlada	0,4	38,5	43,9	\	55	216	Não
9. Parede I	Sala tratamento AL oncor 1	100%	II ^{ária}	100%	Controlada	0,4	32,8	41	\	52	258	Não
10. Parede J	Sala tratamento AL oncor 1	100%	II ^{ária}	100%	Controlada	0,4	67,1	39,9	\	78	395	Não
11. Parede K	Sem ocupação (terra)	\	I ^{ária}	\	terra	\	\	\	\	\	120	Não
12. Parede L	Sala reuniões	25%	II ^{ária}	100%	Pública	0,02	85,4	55,1	\	97	146	Não
13. Teto	Ecocentro de resíduos	100%	I ^{ária}	10%	Pública	0,02	126	55,5	53,8	126	>140 ⁽³⁾	Não



Considerações finais

1. Não existe nenhuma norma de cálculo de blindagens aplicada directamente à Tomoterapia
 - Janela de oportunidade para a realização de estudos académicos
 - As medições in loco realizadas pelo IST no passado dia 9 de março foram decisivas para garantir de forma conclusiva a SR da instalação



IPO COIMBRA



Qualidade
Um Compromisso



Considerações finais (cont.)

2. Os cálculos de blindagem tiveram de ser efectuados pelo físico responsável antes de adquirir o equipamento a instalar no bunker existente -> o físico tem essa competência -> cooperação do IST crucial na fase das medições in loco, designadamente na falta de equipamento de medição apropriado
 - Deve ser reconhecida a competência do EFM enquanto PQPR nos termos do DL227/2008
 - Neste contexto, deve ser revisto o nível de intervenção do IST exigido pela DGS (avaliação e/ou verificação das condições de SR da instalação)
 - Também deve ser revisto o custo adicional aplicado pelo IST para a prestação de serviço correspondente



IPO COIMBRA

Qualidade
Um Compromisso

Obrigada pela vossa atenção!



Relatório do estudo do
cálculo de blindagem para a
instalação de Tomoterapia®
TomoHD™ da Accuray
instalada no Serviço de
Radioterapia do IPO
Coimbra FG, EPE

Maria Carmen Fernandes de Sousa

Maria do Carmo Lopes

Serviço de Física Médica

IPO Coimbra FG, EPE

8 de janeiro de 2016

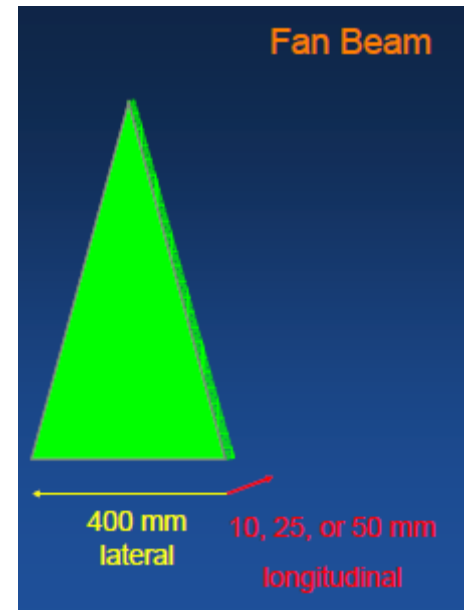
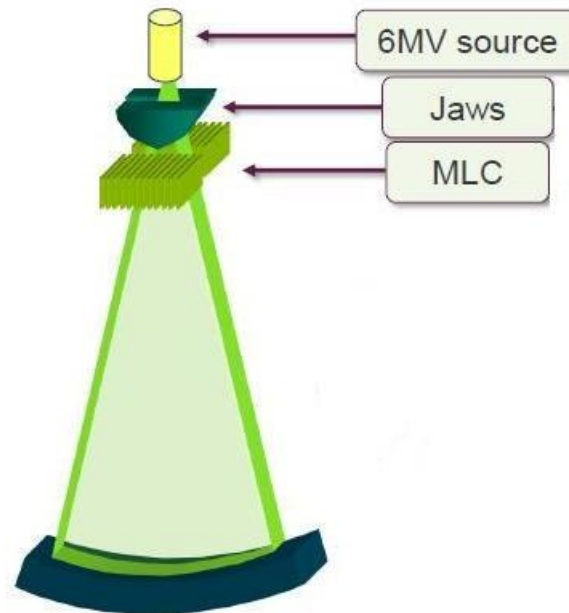
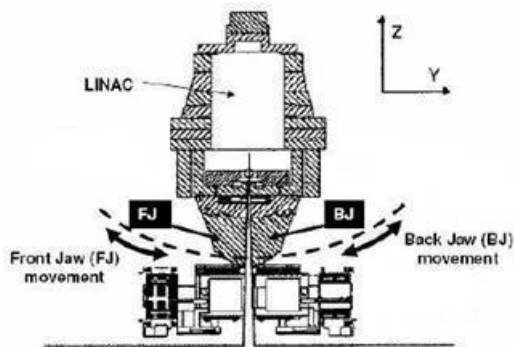
carmen.sousa@ipocoimbra.min-saude.pt

DADOS			
	1	2	3
Referências	DRD-RTE n.º 01/2016	DRD-RTE n.º 01/2016	DRD-RTE n.º 01/2016
Entidade	IPO Coimbra FG, EPE	IPO Coimbra FG, EPE	IPO Coimbra FG, EPE
Equipamento/modelo	TomohD™	TomohD™	TomohD™
Designação da barreira e referência na planta	Parede - A	Porta - B	Parede - C
Tipo de barreira	Secundária	Secundária e terciária	Secundária
Fator de Utilização, U	100%	100%	100%
Fator de ocupação, T	100%	100%	100%
Distância entre a fonte e a barreira, a (m)	9,064	8,472	6,551
Espessura da barreira (cm)	142,9	148,7	205,6
Material constituinte da barreira	Betão normal 2,2 g/cm ³	Betão normal 2,2 g/cm ³	Betão normal 2,2 g/cm ³
Área a proteger e ocupação	Gabinete de Direção -	Corredor - PE	Sala de controlo - PE
Limite Derivado Semanal de Equivalente de Dose, LDES _{ED} (mSv/sem)	PG		
Energia máxima fótons X (MeV)	0,02	0,4	0,4
Calibration output (Gy/min) no Isocentro (Ø 0,85 m)	6	6	6
Tamanho do campo máximo no isocentro (Ø 0,85 m) (cm ²)	8,8	8,8	8,8
TVL _{Leakage} (6 MeV; concrete 2,3 g/cm ³) (cm)	200	200	200
TVL _{Scatter} (6 MeV; concrete 2,3 g/cm ³) (cm)	34	34	34
TVL _{Ilário} (6 MeV; concrete 2,3 g/cm ³) (cm)	17	17	17
TVL _{Ilário} (6 MeV; concrete 2,3 g/cm ³) (cm)			
Ângulo de incidência na barreira θ (°)	0	32 / 23	45
Densidade do betão que compõe a barreira (g/cm ³)	2,2	2,2	2,2
Beam on time por semana (min/sem)	1200	1200	1200
Área "A" da parede da barreira K onde é produzida a radiação Ω^{**} (m ²)		9	
Distância entre o Isocentro e a linha central do labirinto na parede da barreira K, onde é produzida a rad. III^{**} , d ₁ (m)		6,9	
Distância entre a porta e a parede da barreira K, onde é produzida a rad. III^{**} , d ₂ (m)		6,7	
Fragão (Leak&Scat)/Output, a 2 m do Isocentro e para o valor conservador de $\theta = 30^\circ$		1,01E-04	
Coefficiente de reflexão para a radiação leak&scatter dispersada pela parede da barreira K, α		6,40E-03	
CÁLCULOS			
TVL _{Leakage} (6 MeV; concrete 2,2 g/cm ³) (cm)	36	36	36
TVL _{Scatter} (6 MeV; concrete 2,2 g/cm ³) (cm)	18	18	18
TVL _{Ilário} (6 MeV; concrete 2,2 g/cm ³) (cm)			
Fragão Leakage/Output, para a distância "a" e o ângulo θ	1,02E-06		4,78E-06
Fragão Scatter/Output, para a distância "a" e o ângulo θ	5,94E-06	5,63E-06	1,85E-05
Fragão Ilário/Output, para a distância "a" e o ângulo θ			
Taxa de Dose Leakage incidente na barreira (μ Gy/min)	9,0	3,2E-03	42,1
Taxa de Dose Scatter incidente na barreira (μ Gy/min)	52,2		162,9
Taxa de Dose Ilário incidente na barreira (μ Gy/min)			
Dose Leakage semanal, que incide na barreira (mGy/sem)	10,8	0,004	50,5
Dose Scatter semanal, que incide na barreira (mGy/sem)	62,7		195,5
Dose Ilário semanal, que incide na barreira (mGy/sem)			
Dose total semanal, que incide na porta (mGy/sem)		0,115	
Transmissão, B _{Leakage}	0,00185		0,00792
Transmissão, B _{Scatter}	0,00032		0,00205
Transmissão, B _{Ilário}			
NP de TVL _{Leakage}	2,73		2,10
NP de TVL _{Scatter}	3,50		2,69
NP de TVL _{Ilário}			
RESULTADOS			
Espessura necessária para atenuar a radiação Leakage (cm)	97,1		74,7
Espessura necessária para atenuar a radiação Scatter (cm)	62,1		47,8
Espessura necessária para atenuar a radiação Primária (cm)			
Espessura necessária para atenuar a radiação total (cm)	108		86
Espessura existente (cm)	143		205
Necessidade de reforço de blindagem	NÃO	NÃO	NÃO

Slides extra

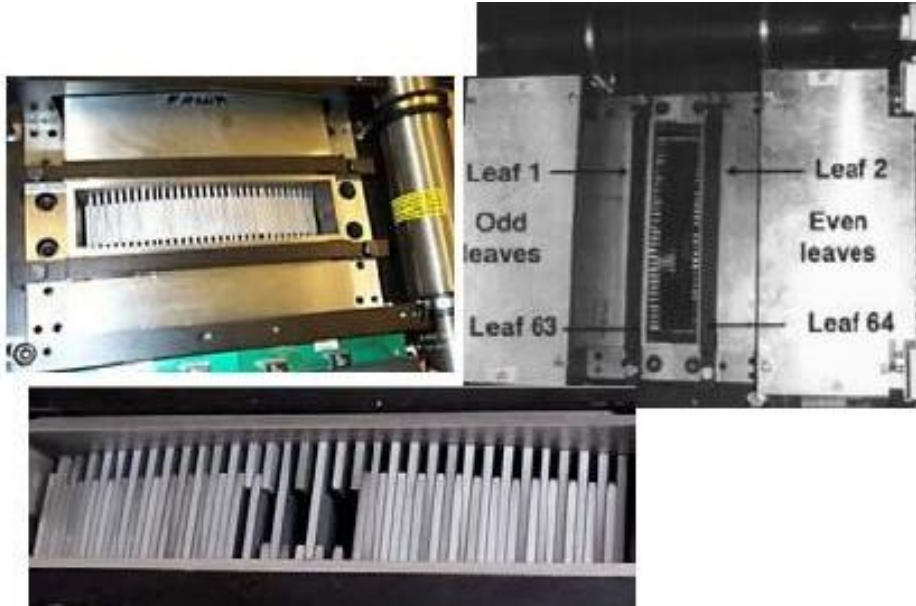


Um conjunto de 2 mandíbulas de tungsténio define a largura da fatia de tratamento

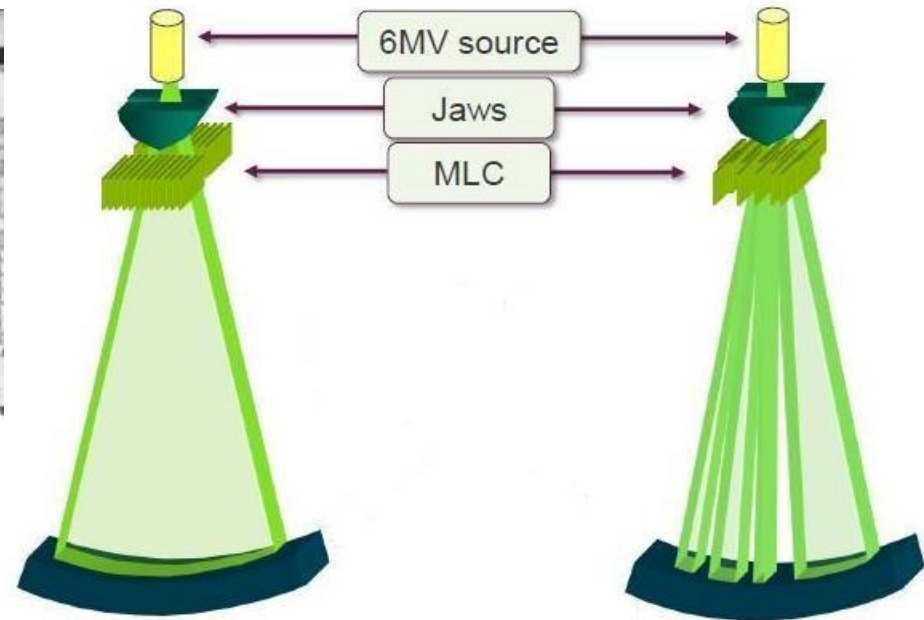




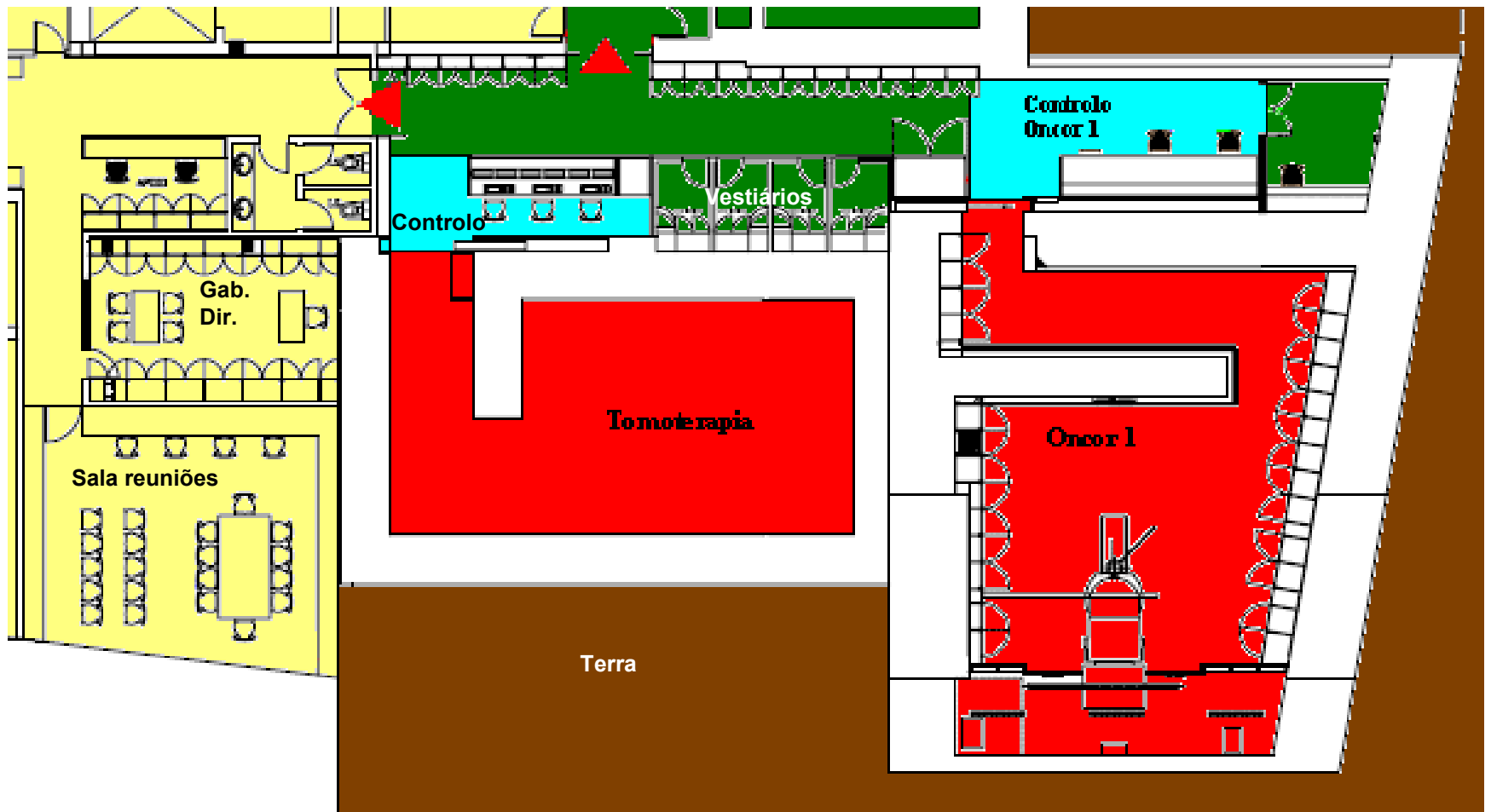
O feixe primário é colimado adicionalmente por um colimador multifolhas binário de 64 folhas entrelaçadas

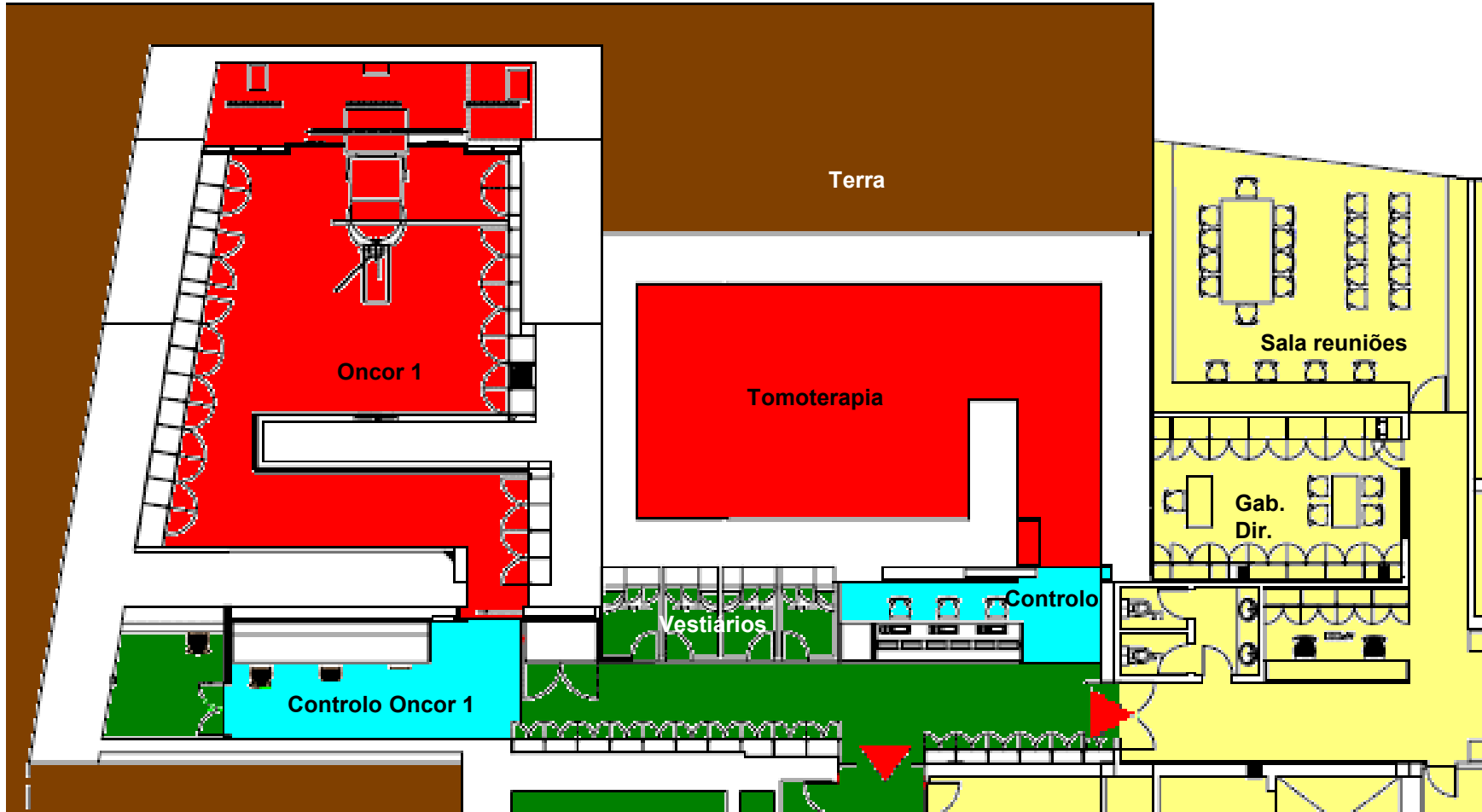


Cada folha funciona em modo aberto ou fechado



Modulação da intensidade & forma do feixe
(Modulated Fan Beam)







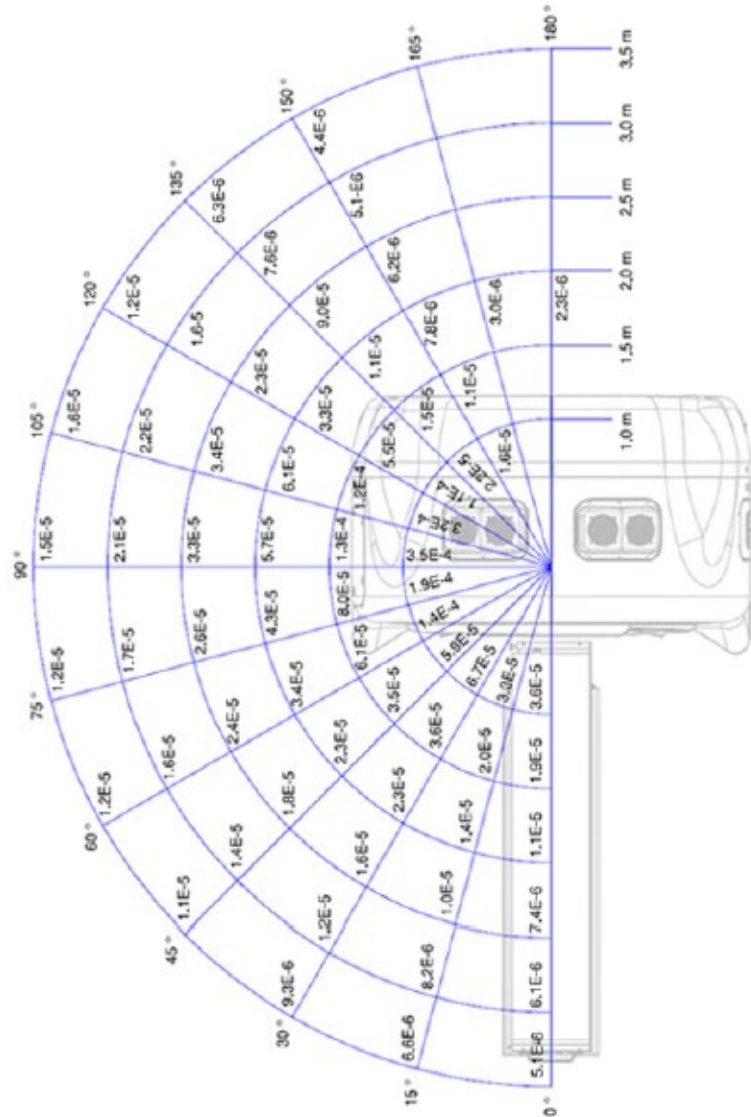
Qualidade
Um Compro

Componente da radiação de fuga (leakage)

Rotação contínua da gantry
Colimadores fechados



Radiação, (a, θ) → Output
Leakage (a, θ) → Output



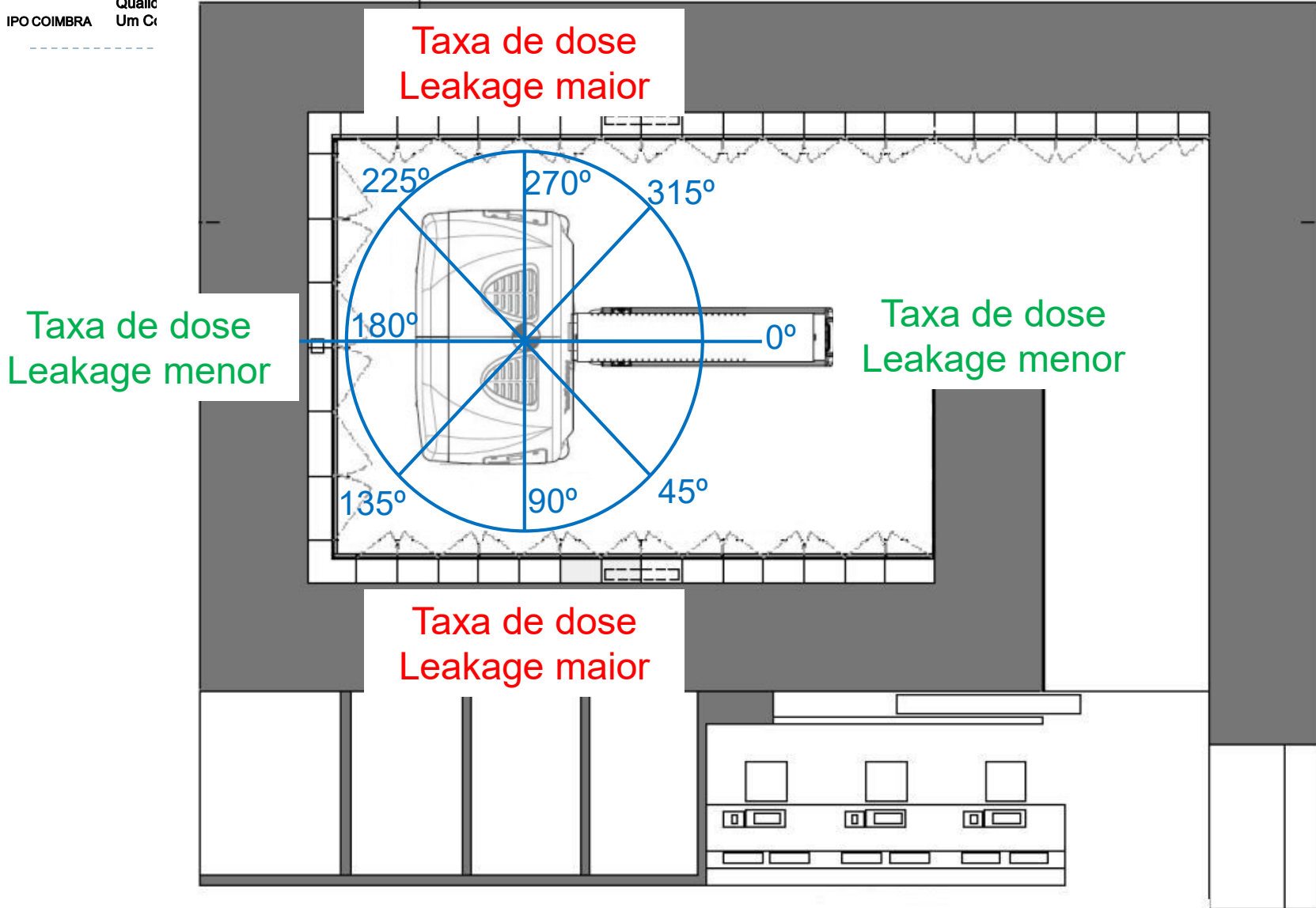
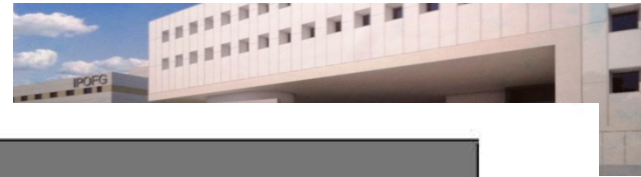
Ângulo da posição da barreira em relação à direção perpendicular ao plano de rotação da gantry θ (em $^\circ$)	$\frac{\text{Leakage}(a, \theta)}{\text{Output}}$ em função da distância radial "a" (em m)
0 $^\circ$	$3,52 \cdot 10^{-5} \times a^{-1,6018}$
15 $^\circ$	$3,35 \cdot 10^{-5} \times a^{-1,2863}$
30 $^\circ$	$6,72 \cdot 10^{-5} \times a^{-1,5736}$
45 $^\circ$	$5,93 \cdot 10^{-5} \times a^{-1,3392}$
60 $^\circ$	$1,35 \cdot 10^{-4} \times a^{-1,9428}$
75 $^\circ$	$1,94 \cdot 10^{-4} \times a^{-2,1981}$
90 $^\circ$	$3,47 \cdot 10^{-4} \times a^{-2,5360}$
105 $^\circ$	$3,17 \cdot 10^{-4} \times a^{-2,4154}$
120 $^\circ$	$1,14 \cdot 10^{-4} \times a^{-1,7800}$
135 $^\circ$	$2,24 \cdot 10^{-5} \times a^{-1,0010}$
150 $^\circ$	$1,60 \cdot 10^{-5} \times a^{-1,3007}$
165 $^\circ$	$2,98 \cdot 10^{-6} \times \left(\frac{2}{a}\right)^2$
180 $^\circ$	$2,3 \cdot 10^{-6} \times \left(\frac{2}{a}\right)^2$



IPO COIMBRA

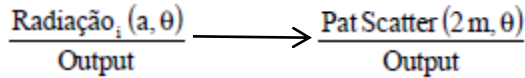


Qualic
Um Cx





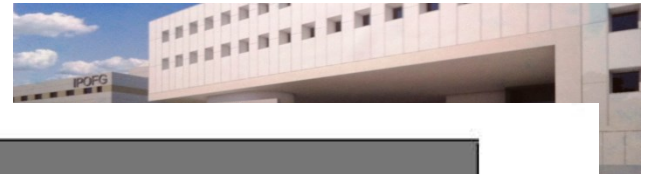
IPO COIMBRA
Qualidade
Um Compromisso



Rotação contínua da gantry
Campo máx 5 x 40 cm²
Fantoma cilíndrico no isocentro

Componente da radiação dispersa pelo doente ($P_{\text{atient}} S_{\text{catter}}$)

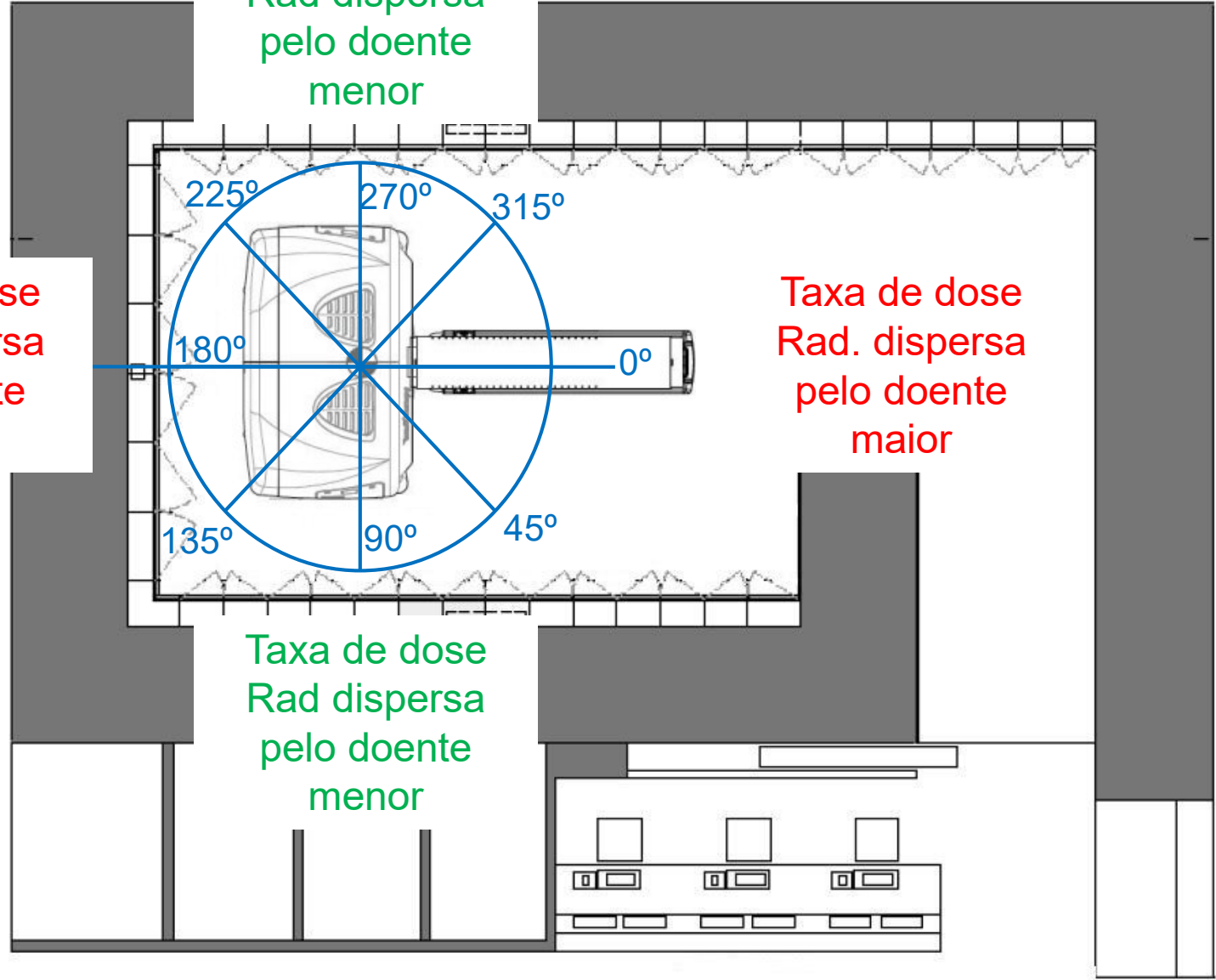
Posição angular da barreira θ (em °)	Radiação "leakage" (colimadores fechados) (r_i)	Radiação total (leakage & patient scatter) (colimadores totalmente abertos) (r_{i+s})	Radiação "patient scatter" $(r_s = r_{i+s} - r_i)$
0°	1,09 10 ⁻⁵ [14%]	7,81 10 ⁻⁵ [100%]	6,72 10 ⁻⁵ [86%]
15°	1,36 10 ⁻⁵ [17%]	8,21 10 ⁻⁵ [100%]	6,85 10 ⁻⁵ [83%]
30°	2,27 10 ⁻⁵ [22,5%]	1,01 10 ⁻⁴ [100%]	7,83 10 ⁻⁵ [77,5%]
45°	2,33 10 ⁻⁵ [20,4%]	1,14 10 ⁻⁴ [100%]	9,07 10 ⁻⁵ [79,6%]
60°	3,42 10 ⁻⁵ [28%]	1,22 10 ⁻⁴ [100%]	8,78 10 ⁻⁵ [72%]
75°	4,25 10 ⁻⁵ [32,4%]	1,31 10 ⁻⁴ [100%]	8,85 10 ⁻⁵ [67,6%]
90°*	5,74 10 ⁻⁵ [68%]	8,44 10 ⁻⁵ [100%]	2,17 10 ⁻⁵ [25,7%]
105°	6,05 10 ⁻⁵ [71,8%]	8,43 10 ⁻⁵ [100%]	2,38 10 ⁻⁵ [28,2%]
120°	3,26 10 ⁻⁵ [83,2%]	3,92 10 ⁻⁵ [100%]	6,6 10 ⁻⁶ [16,8%]
135°	1,11 10 ⁻⁶ [4,1%]	2,68 10 ⁻⁵ [100%]	2,57 10 ⁻⁵ [95,9%]
150°	7,80 10 ⁻⁶ [13,6%]	5,73 10 ⁻⁵ [100%]	4,95 10 ⁻⁵ [86,4%]
165°	2,98 10 ⁻⁶ [3,9%]	7,59 10 ⁻⁵ [100%]	7,29 10 ⁻⁵ [96,1%]
180°	2,3 10 ⁻⁶ [4%]	5,79 10 ⁻⁵ [100%]	5,56 10 ⁻⁵ [96%]



Taxa de dose
Rad dispersa
pelo doente
menor

Taxa de dose
Rad. dispersa
pelo doente
maior

Taxa de dose
Rad. dispersa
pelo doente
maior



Taxa de dose
Rad dispersa
pelo doente
menor

Componente da radiação primária

Posição angular da barreira θ (em °)	Radiação "leakage" (colimadores fechados) (r_l)	Radiação total (leakage & patient scatter) (colimadores totalmente abertos) (r_{l+s})	Radiação "patient scatter" $(r_s = r_{l+s} - r_l)$
0°	1,09 10 ⁻⁵ [14%]	7,81 10 ⁻⁵ [100%]	6,72 10 ⁻⁵ [86%]
15°	1,36 10 ⁻⁵ [17%]	8,21 10 ⁻⁵ [100%]	6,85 10 ⁻⁵ [83%]
30°	2,27 10 ⁻⁵ [22,5%]	1,01 10 ⁻⁴ [100%]	7,83 10 ⁻⁵ [77,5%]
45°	2,33 10 ⁻⁵ [20,4%]	1,14 10 ⁻⁴ [100%]	9,07 10 ⁻⁵ [79,6%]
60°	3,42 10 ⁻⁵ [28%]	1,22 10 ⁻⁴ [100%]	8,78 10 ⁻⁵ [72%]
75°	4,25 10 ⁻⁵ [32,4%]	1,31 10 ⁻⁴ [100%]	8,85 10 ⁻⁵ [67,6%]
90°	5,74 10 ⁻⁵ [68%]	8,44 10 ⁻⁵ [100%]	2,17 10 ⁻⁵ [25,7%]
105°	6,05 10 ⁻⁵ [71,8%]	8,43 10 ⁻⁵ [100%]	2,38 10 ⁻⁵ [28,2%]
120°	3,26 10 ⁻⁵ [83,2%]	3,92 10 ⁻⁵ [100%]	6,6 10 ⁻⁶ [16,8%]
135°	1,11 10 ⁻⁶ [4,1%]	2,68 10 ⁻⁵ [100%]	2,57 10 ⁻⁵ [95,9%]
150°	7,80 10 ⁻⁶ [13,6%]	5,73 10 ⁻⁵ [100%]	4,95 10 ⁻⁵ [86,4%]
165°	2,98 10 ⁻⁶ [3,9%]	7,59 10 ⁻⁵ [100%]	7,29 10 ⁻⁵ [96,1%]
180°	2,3 10 ⁻⁶ [4%]	5,79 10 ⁻⁵ [100%]	5,56 10 ⁻⁵ [96%]

The primary radiation contribution was 6.3% of the overall radiation level at 250 cm from isocenter as measured within the plane of gantry rotation (room angle = 90°). This was measured with maximum aperture (5 cm x 40 cm).

$$\frac{\text{Leakage}(a,90^\circ)}{\text{Output}} = 68\% \times 8,44 \cdot 10^{-5} \times \left(\frac{2}{a}\right)^2$$

$$\frac{I^{\text{prio}}(a,90^\circ)}{\text{Output}} = 6,3\% \times 8,44 \cdot 10^{-5} \times \left(\frac{2}{a}\right)^2$$

$$\frac{\text{Pat Scatter}(a,90^\circ)}{\text{Output}} = 25,7\% \times 8,44 \cdot 10^{-5} \times \left(\frac{2}{a}\right)^2$$



Considerações finais

1. Na prática clínica, a produção de radiação dispersa e de radiação primária é menor, de um factor 16
 - ▶ $(5 \text{ cm}/2,5 \text{ cm}) \times (64/16 \text{ folhas}) \times (\text{Factor Modulação}=2) = 16$

Table 3-5: TomoTherapy treatment system example treatment parameters in TomoHelical mode.

Treatment Site	Prescription Dose (Gy)	Fraction Dose (Gy)	Beam-on Time (min)	Field Width (cm)	Number of Open Leaves	Leaf Open Time (%)
Prostate	78.0	2.0	4.0	2.5	12	41
Whole Brain	30.0	3.0	3.5	2.5	9	60
Nasopharynx	72.0	2.1	6.3	2.5	10	54

TomoTherapy Site Planning Guide TomoHD, 2010